


Estudio sobre esquemas de demodulación PAM

Katherine Vargas Castro, B88198, Jorge Adán Mora Soto, B95222, Daniel Chacón Mora, B72018

Repositorio:  **air_flow Resumen**—Se cuenta con una planta de flujo de aire con datos tomados en el punto de operación en un rango del 25 % al 50 % de su capacidad máxima. La problemática planteada consiste en un sistema para esparcir esporas para polinización de flores. Bajo este contexto se desea un sistema que funcione en servo-control, robusto antes que un manejo de un buen desempeño, y sin el necesario manejo de perturbaciones. No obstante, estas características «despriorizadas» también se contemplan y se diseñan pero con menor prioridad.

Index Terms—Servo-Control, Robustez, Flujo de aire, 123c Alfaro, uSORT, Chien-Hrones-Reswick

I. PROCESO

Primeramente se procesan los datos originales ajustándolos y eliminando información innecesaria enfocándonos en la zona de interés, resultando:

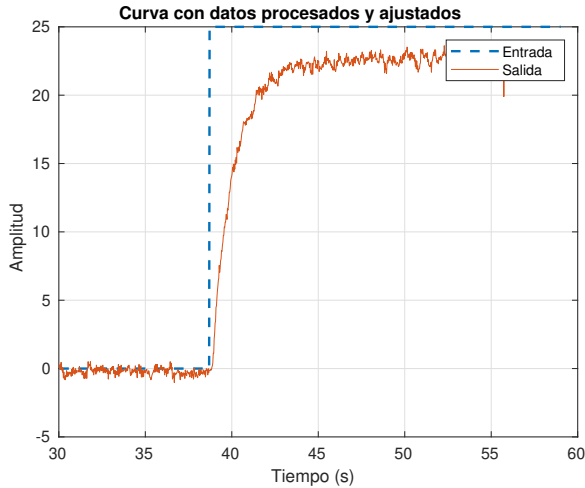


Figura 1. Curva con datos ajustados (Autoría propia)

II. IDENTIFICACIÓN EXPERIMENTAL

II-A. System Identification Toolbox

Esta herramienta se trata que ofrece funciones para modelado de sistemas dinámicos, análisis de series temporales y predicción [1]. Para realizar la simulación se utilizó un start time de 30, en conjunto con un sample time de 0.0256. Primero se probó con un solo polo más tiempo muerto, además de esto se utilizaron diferentes optimizaciones, sin embargo la estimación del modelo no aumentó, después se procedió a realizar el mismo procedimiento con 2 polos, no obstante tampoco hubo un incremento en el porcentaje. Al final se decidió mantener la ecuación con un solo polo, para

facilitar futuros cálculos. La estimación máxima obtenida fue de 96.58 %.

$$Kp = 0.9058$$

$$T = 1.2637$$

$$L = 0.11419$$

$$P_s = \frac{Kpe^{-Ls}}{1 + Ts}$$

Ecuación del modelo:

$$P(s) = \frac{0.9058e^{-0.11419s}}{1 + 1.2637s} \quad (1)$$

II-B. 123c Alfaro para modelo de primer orden más tiempo muerto [2]:

$$P(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Para este método la ganancia K se obtiene con el procesamiento directo de los datos en MATLAB. Favor referenciar el script adjunto:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{22.5397}{25} = 0.9016$$

La constante de tiempo:

$$\tau = T = 0.9102(t_{25\%} - t_{75\%}) = 1.27539784s$$

Y el retardo o tiempo muerto:

$$t_m = L = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = 0.1090s$$

Nuevamente, el cálculo de los tiempos se muestra en el script adjunto; favor referenciarlo.

De modo que el modelo identificado:

$$P(s) = \frac{0.9016e^{-0.1090s}}{1.2784s + 1} \quad (2)$$

De modo que se grafica el modelo a continuación:

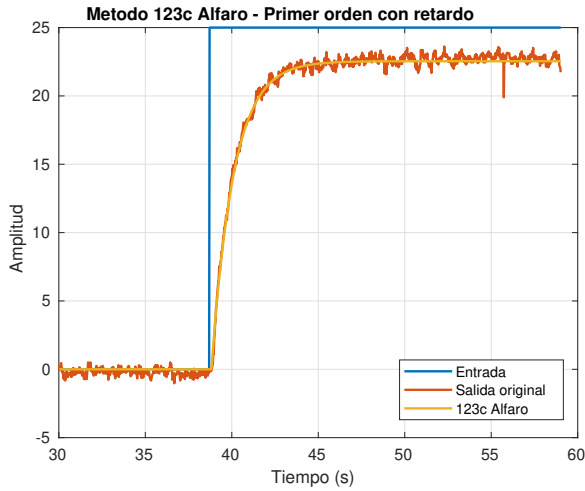


Figura 2. Modelo obtenido con 123c Alfaro POMTM (Autoría propia)

II-C. Método de dos puntos: Ho et Al.

El método entre dos puntos se encarga de tomar los tiempos t_1 y t_2 en los cuales ocurren dos puntos (P_1 y P_2) que deben ser utilizados junto con los coeficientes de Ho et al [3]. En estos puntos mencionados anteriormente la respuesta del sistema real debe coincidir con la respuesta que se obtenga en la respuesta del modelo. Por ahora, se cuenta con un modelo de primer orden más tiempo muerto (POMTM), del cual se deben obtener los parámetros de la constante de tiempo τ y el tiempo muerto t_m . También, se debe obtener la ganancia K , la cual se obtiene con la relación entre la salida y la entrada del proceso real. Está dada por:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = 0.9016 \quad (3)$$

Con el método de Ho et al. los puntos se calculan de la siguiente manera:

- P_1 : su valor corresponde para el 35 % de la salida del Δy .
- P_2 : su valor corresponde para el 85 % de la salida del Δy .

Con base a esto, logramos determinar que sus valores son:

$$P_1 = 7.8889 \quad (4)$$

$$P_2 = 11.2870 \quad (5)$$

$$(6)$$

Sus tiempos correspondientes son:

$$T_1 = 0.8725s \quad (7)$$

$$T_2 = 2.8335 \quad (8)$$

$$(9)$$

Los coeficientes del modelo son : $a = -0.67$, $b = 0.67$, $c = 1.30$, y $d = -0.29$.

Con los datos obtenidos es posible calcular los parámetros del modelo [4]:

$$\tau = at_1 + bt_2 \quad (10)$$

$$t_m = ct_1 + dt_2 \quad (11)$$

$$(12)$$

Su función de transferencia correspondiente es:

$$P_{Ho} = \frac{0.9016e^{-0.1004s}}{1.314s + 1} \quad (13)$$

III. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS A TRAVÉS DEL IAE (INTEGRAL ABSOLUTE ERROR CRITERION)

| Modelo | IAE |
|-------------------|--------|
| SI Toolbox | 8.049 |
| Método de Ho | 8.6932 |
| 123c Alfaro POMTM | 8.4220 |

Cuadro I

COMPARACIÓN DE LOS MODELOS USANDO EL IAE

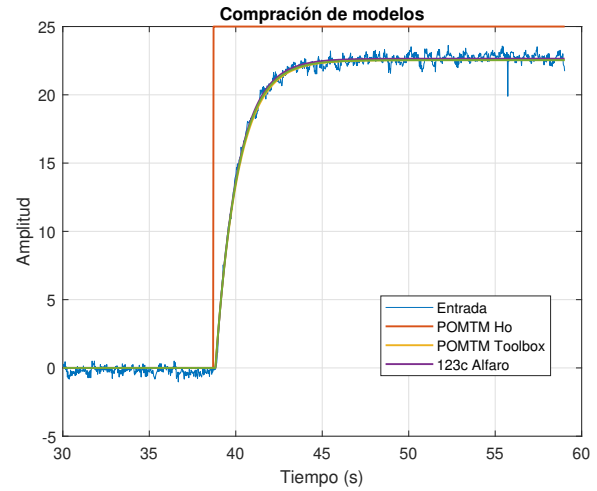


Figura 3. Comparación visual de los tres modelos obtenidos

IV. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS PARA EL MODELO SELECCIONADO

El modelo seleccionado es de primer orden más tiempo muerto como se muestra en la ecuación 1 pero se coloca nuevamente por comodidad:

$$P(s) = \frac{0.9058e^{-0.11419s}}{1 + 1.2637s}$$

Para lo cual:

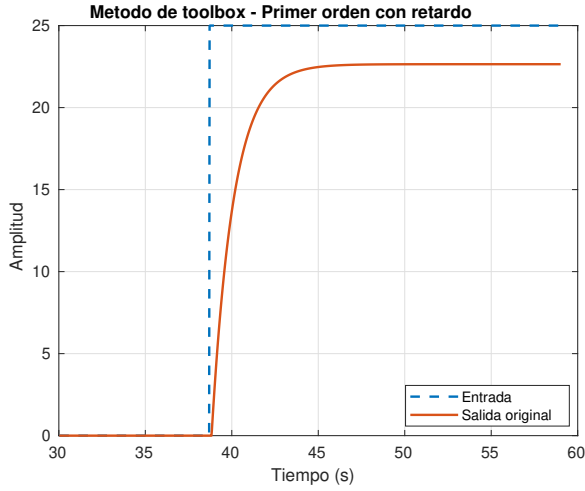


Figura 4. Modelo seleccionado obtenido con System Toolbox identification (Autoría Propia).

Consiste en un sistema críticamente amortiguado.

V. ESPECIFICACIONES DESEADAS DEL SISTEMA

Se desea un sistema mayormente robusto. No importa tanto la rapidez o respuesta pero sí debe manejar un margen de error mínimo. Se desea un controlador funcionando en servocontrol.

VI. ALGORITMOS DE CONTROL

En esta sección se presenta los controladores diseñados para la planta:

VI-A. Controlador uSORT PI

Para el primer controlador se eligió diseñar para un Ms de 1.4 utilizando el método de sintonización de uSORT [5], ya que en nuestras especificaciones de diseño buscamos obtener un sistema robusto. La elección de un controlador PI se debe a que se busca minimizar el error permanente y lograr un error mínimo en el sistema.

$$\tau = \frac{L}{T} = 0.0904 \quad (14)$$

$$K_p = \frac{a_0 + a_1(\tau)^{a_2}}{K} = 4.5481 \quad (15)$$

$$K_p = \frac{0.164 + 0.305(0.0904)^{-1.066}}{0.9058} = 4.5481 \quad (16)$$

$$T_i = \left(\frac{b_0 + b_1\tau + b_2(\tau)^2}{b_3 + \tau} \right) T = 4.5481 \quad (17)$$

$$T_i = \left(\frac{14.650 + 8.450(0.0904) + 0.0(0.0904)^2}{15.740 + \tau} \right) T = 1.2304 \quad (18)$$

$$C = \frac{4.5481(1.2304s + 1)}{1.2304s} \quad (19)$$

De modo que se obtiene:

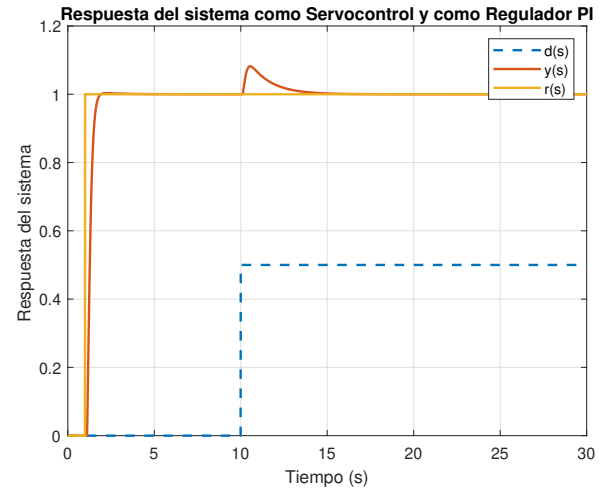


Figura 5. Modelo obtenido con el método de uSORT (Autoría propia)

VI-B. Controlador PI Chien

Para realizar el diseño de este controlador fue utilizada la regla de Chien *et al* [4] para servocontrol.

Utilizando las constantes obtenidas de la planta se calculan las del controlador:

$$K_c = \frac{0.35T}{KL} = 4.2761 \quad (20)$$

$$T_i = 1.17T = 1.4785 \quad (21)$$

Resultando en:

$$C = \frac{6.322s + 4.276}{1.479s} \quad (22)$$

Del sistema se obtiene:

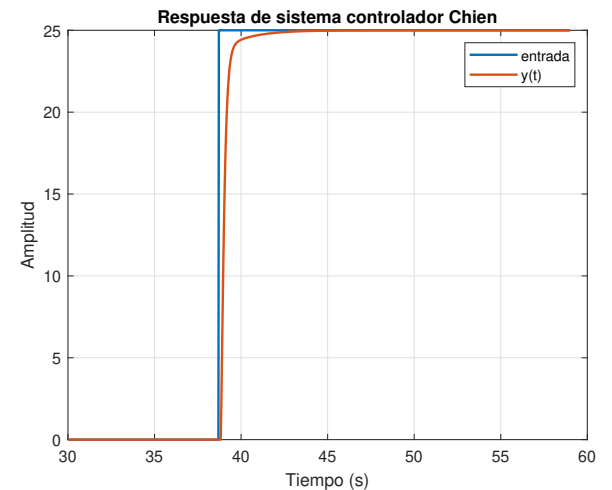


Figura 6. Respuesta del sistema ante una entrada escalón en el controlador PI utilizando las regla diseño de Chien (Autoría propia).

VI-C. Murriel - Criterio de dos restricciones

Para este método las constantes para el primer modelo se calculan de la siguiente manera:, utilizando las constantes de

τ y L del modelo.

$$K_c = \frac{0.928}{K_m} \left(\frac{T_m}{\tau_m} \right)^{0.946} = 0.1054 \quad (23)$$

$$T_i = \frac{T_m}{1.078} \left(\frac{\tau_m}{T_m} \right)^{0.583} = 0.2886 \quad (24)$$

Resultando:

$$C(s) = \frac{0.03043s + 0.1054}{0.2886s} \quad (25)$$

De modo que se obtiene:

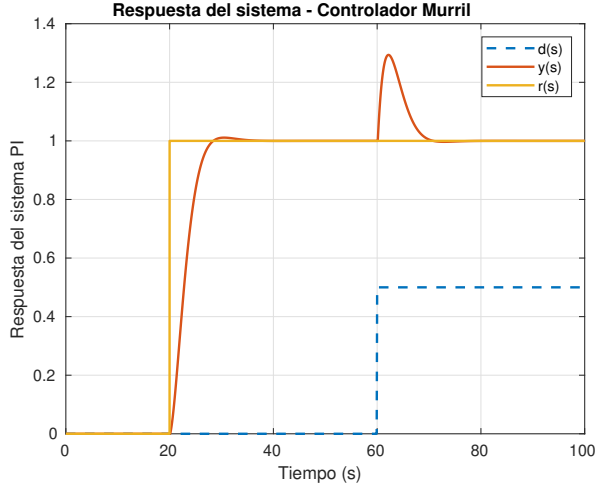


Figura 7. Modelo compensado con el método de Murriel (Autoría propia)

VII. PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL DISEÑO

VII-A. *uSORT*

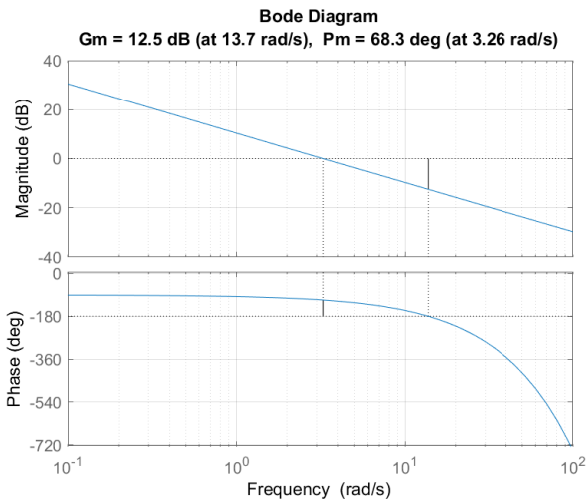


Figura 8. Diagrama de Bode del controlador PI utilizando las reglas de diseño de uSORT [4]

Del diagrama de bode anterior se observa como el margen de fase es de 68.3° , lo cuál nos indica que nuestro sistema es robusto.

VII-B. *Chien*

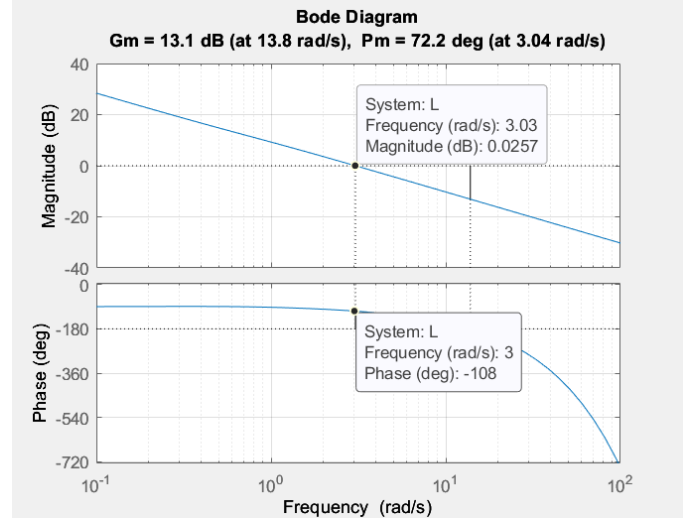


Figura 9. Diagrama de Bode del controlador PI utilizando las reglas de diseño de Chien (Autoría propia)

Del diagrama de bode anterior se observa como el margen de fase es de 72.2° , lo cuál nos indica que nuestro sistema es robusto.

VII-C. *Murriel*

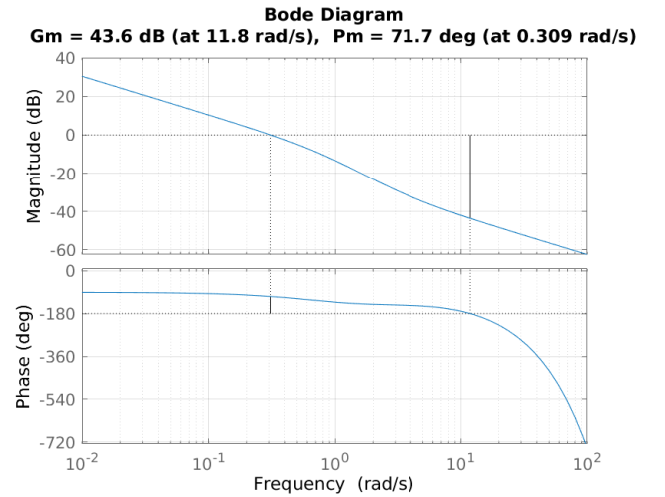


Figura 10. Diagrama de Bode del controlador PI utilizando las reglas de diseño de Murriel (Autoría propia)

Del diagrama de bode anterior se observa como el margen de fase es de 71.7° , lo cuál nos indica que nuestro sistema es robusto.

VII-D. Comparación de los controladores

| Regla de diseño utilizada | IAE | Esfuerzo de Control | ta2 % (s) | Mp % |
|---------------------------|--------|---------------------|-----------|------|
| uSORT | 8.0603 | NA | 0.7200 | 0 |
| Chien | 9.8745 | NA | 4.1 | 0 |
| Murrill | 78.512 | NA | 7.8900 | 1.1 |

Cuadro II

COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS CONTROLADOS SIMULADOS

VIII. VALIDACIÓN DEL DISEÑO EN LA PLANTA

VIII-A. uSORT

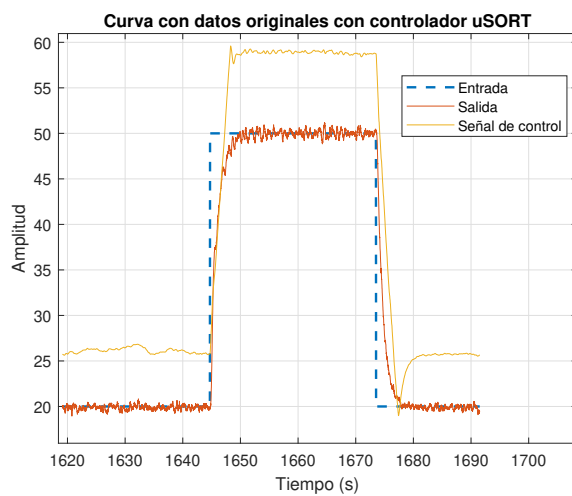


Figura 11. Respuesta en el laboratorio del sistema ante una entrada escalón en el controlador PI utilizando las regla diseño de uSORT (Autoría propia)

VIII-B. Chien

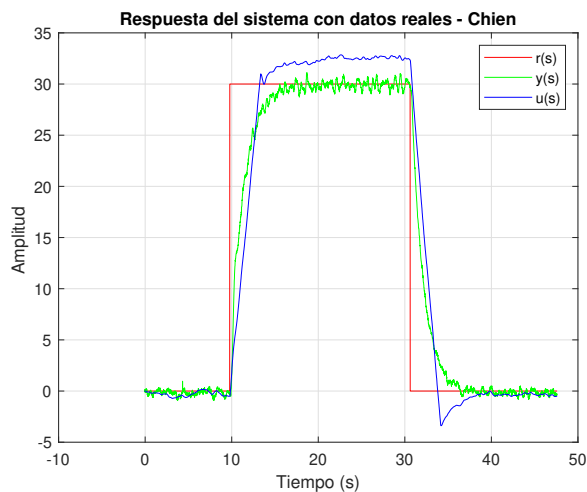


Figura 12. Respuesta en el laboratorio del sistema ante una entrada escalón en el controlador PI utilizando las regla diseño de Chien [4]

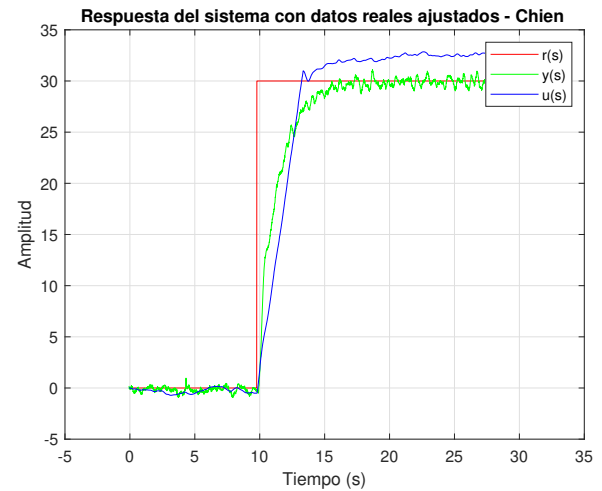


Figura 13. Respuesta en el laboratorio del sistema ante una entrada escalón en el controlador PI utilizando las regla diseño de Chien con datos ajustados (Autoría propia).

VIII-C. Murril

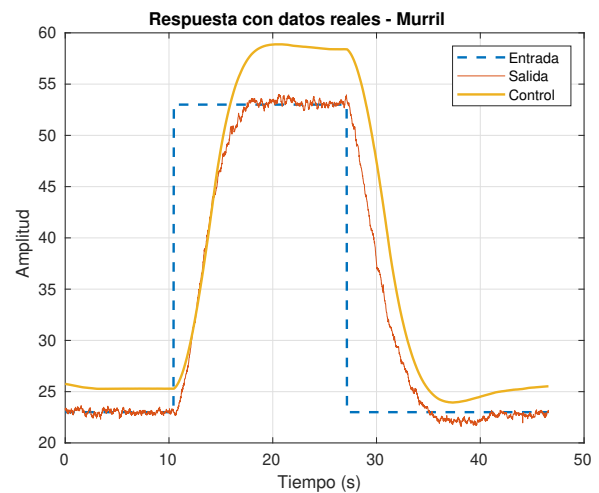


Figura 14. Respuesta en el laboratorio del sistema ante una entrada escalón en el controlador PI utilizando las regla diseño de Murril (Autoría propia)

Sin embargo, para hacer un análisis más enfocado, en esta curva en particular, se analiza solo el escalón positivo:

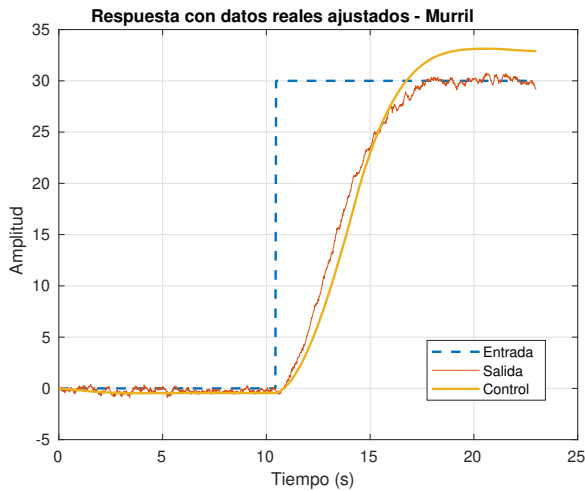


Figura 15. Respuesta en el laboratorio del sistema ajustado ante una entrada escalón en el controlador PI utilizando las regla diseño de Murril (Autoría propia)

VIII-D. Comparación de los sistemas controlados reales por IAE y esfuerzo de control

| Regla de diseño utilizada | IAE | Esfuerzo de Control | ta2 % | Mp % |
|---------------------------|---------|---------------------|--------|------|
| uSORT | 41.5532 | 47.9099 | 5.1687 | 0 |
| Chien | 52.6684 | 46.4257 | 7.58 | 0 |
| Murrill | 98.7905 | 34.5162 | 7.2398 | 0 |

Cuadro III

COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS CONTROLADOS EXPERIMENTALES

IX. COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS SIMULADAS Y EXPERIMENTALES

IX-A. uSORT

| Características | Simulación | Experimental |
|-----------------|------------|--------------|
| $t_{a2} \%$ (s) | 0.7200 | 5.1687 |
| $M_p \%$ (%) | 0 | 0 |
| $e_p \%$ (%) | 0 | 0 |
| IAE | 8.0603 | 41.5532 |
| TV_{ur} | NA | 47.9099 |

Cuadro IV

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SIMULADOS APLICANDO LAS TÉCNICAS DE USORT

IX-B. Chien

La prueba realizada en el laboratorio utilizando el controlador Chien da como resultado:

| Características | Simulación | Experimental |
|-----------------|------------|--------------|
| $t_{a2} \%$ (s) | 4.1 | 7.5841 |
| $M_p \%$ (%) | 0 | 0 |
| $e_p \%$ (%) | 0 | 0 |
| IAE | 9.8745 | 52.6684 |
| TV_{ur} | NA | 46.4257 |

Cuadro V

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SIMULADOS APLICANDO LAS TÉCNICAS DE CHIEN

IX-C. Murril

| Características | Simulación | Experimental |
|-----------------|------------|--------------|
| $t_{a2} \%$ (s) | 7.8900 | 7.2398 |
| $M_p \%$ (%) | 1.1 | 0 |
| $e_p \%$ (%) | 0 | 1.2536 |
| IAE | 78.512 | 98.7905 |
| TV_{ur} | NA | 34.5162 |

Cuadro VI

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SIMULADOS APLICANDO LAS TÉCNICAS DE MURRIL

X. CONCLUSIONES

Se cuenta con un sistema el cual no se expondrá a perturbaciones, al contrario, se encontrará en un ambiente controlado; por lo cual se concluye la posibilidad de diseñar para un sistema en servocontrol. Por otro lado, se desea que cambie su valor dependiendo del tiempo, siendo entonces un sistema no lineal, por lo que interesa más su robustez que su desempeño; pues la velocidad de respuesta no es de vital importancia. A partir de los resultados obtenidos se concluye que el mejor modelo a considerar fue el propuesto por la herramienta de System Identification por MATLAB. Esto en base a que presentó el mejor índice de desempeño IAE, es decir, el menor IAE. Además con una cuidadosa observación se concluye que presenta un modelo más aproximado a la planta real.

Los practicantes deben mejorar el cálculo de esfuerzo de control para los sistemas simulados.

Por parte del controlador diseñado, no se propone una posible mejora o recomendación para futuros diseños, pues a partir de los resultados se concluye que el método más adecuado es uSORT, debido a que es el que presentó nuevamente los mejores índices de desempeño IAE y el mejor esfuerzo de control.

Por último, el controlador implementado es eficaz y cumple con las condiciones planteadas por los practicantes; obteniendo una excelente robustez y corrigiendo de manera exitosa, y con un desempeño aceptable, las posibles perturbaciones presentadas a pesar de no ser contempladas.

REFERENCIAS

- [1] MathWorks. (2022, feb) System identification toolbox actualización importante. Visitado en febrero 26 de 2023. [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/products/sysid.html>
- [2] V. M. Alfaro, "Identificación de modelos de orden reducido a partir de la curva de reacción del proceso," *Ciencia y Tecnología*, vol. 1, no. 0378-0524, p. 207, sep 2006.
- [3] V. M. Alfaro, *IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS SOBREAMORTIGUADOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE LAZO ABIERTO*, 1st ed. San Pedro, San Jose, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, dec 2001, vol. 11.
- [4] O. Aidan, *Handbook of PI and PID controller tuning rules*, 3rd ed. Imperial College Press, 2009.
- [5] R. V. Víctor M. Alfaro, "Optimal robust tuning for 1dof pi/pid control unifying fopdt/sopdt models," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 8, p. 141–158, 2011.